

## Reference 3

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-296645

(43) 公開日 平成8年(1996)11月12日

(51) Int.Cl.<sup>5</sup>

F 1 6 C 32/04

識別記号

庁内整理番号

F I

F 1 6 C 32/04

技術表示箇所

Z

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平7-104313

(22) 出願日 平成7年(1995)4月27日

(71) 出願人 000004204

日本精工株式会社

東京都品川区大崎1丁目6番3号

(72) 発明者 福山 寛正

神奈川県藤沢市鶴沼神明一丁目5番50号

日本精工株式会社内

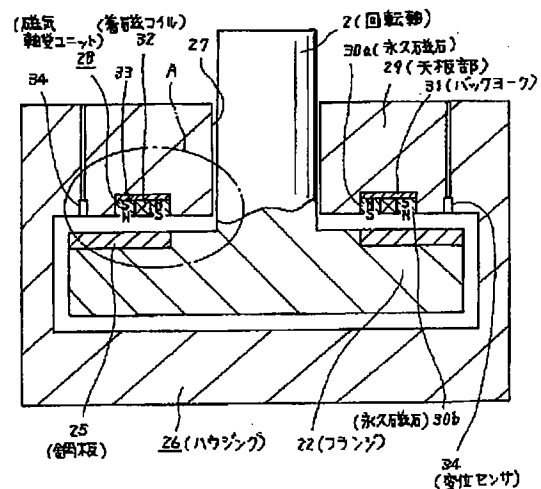
(74) 代理人 弁理士 小山 欽造 (外1名)

(54) 【発明の名称】 磁気軸受装置

(57) 【要約】

【目的】 少ない消費電力で大きな負荷容量を実現する。

【構成】 回転軸2と同心のフランジ22の上面に鋼板25を固定する等により強磁性体部分を設ける。ハウジング26を構成する天板部29の下面に固定した磁気軸受ユニット28の下面を、上記強磁性体部分の上面に対向させる。この磁気軸受ユニット28は、同心で互いに逆方向に着磁された1対の永久磁石30a、30bと、両永久磁石30a、30bの上端面同士を磁的に導通させるバックヨーク31と、着磁コイル32とから成る。変位センサ34、34により検出されるフランジ22の位置が動かない様にするべく、上記着磁コイル32への通電方向と通電量を調節する。この調節により、上記強磁性体部分と磁気軸受ユニット28との間に作用する磁気吸引力を変化させ、上記フランジ22及び回転軸2の位置を規制する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 回転軸と、この回転軸の一部にこの回転軸と同心に設けられたフランジと、このフランジの少なくとも軸方向片面に設けられた強磁性体部分と、この強磁性体部分に対向する内壁面を有し、且つ上記フランジを囲むハウジングと、このハウジングの一部に上記フランジの少なくとも片面に対向して設けられ、このハウジングに対する上記フランジの軸方向位置を検出する変位センサと、上記ハウジングの内壁面の一部に上記強磁性体部分に対向して設けられた磁気軸受ユニットと、この磁気軸受ユニットへの通電を制御する制御器とを備え、上記磁気軸受ユニットは、それぞれが軸方向に且つ互いに逆方向に着磁され、それぞれが上記回転軸と同心に配置された少なくとも1対の永久磁石と、これら対となる永久磁石の着磁方向端面で上記フランジと反対側の端面同士を磁的に連結する磁性材製のバックヨークと、上記1対の永久磁石の間の個所とこれら1対の永久磁石のうちの直径方向内側の永久磁石の内周面の個所と直径方向外側の永久磁石の外周面の個所との少なくとも1個所に配置された円環状の着磁コイルとを備え、上記制御器は、上記変位センサの検出信号に基づいて上記着磁コイルへの通電量と通電方向とを制御して上記フランジの軸方向位置を一定に保つ磁気軸受装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 この発明に係る磁気軸受装置は、例えば夜間の余剰電力を運動エネルギーに変換して貯蔵し、昼間にこの運動エネルギーを電気エネルギーに変換して取り出す電力貯蔵装置を構成する超電導フライホイール装置等、各種超高速回転機械装置に組み込んだ状態で使用する。

## 【0002】

【従来の技術】 小規模事業所や一般家庭に設置して夜間の余剰電力を貯蔵できる装置として、回転軸にモーメントの大きなフライホイールを固定すると共に、この回転軸に発電機兼用モータを組み付けた電力貯蔵装置が研究されている。この電力貯蔵装置の場合、夜間には上記発電機兼用モータに余剰電力を供給する事により、上記回転軸及びフライホイールを回転させ、上記余剰電力を運動エネルギーに変換して、フライホイールの回転運動エネルギーとして貯蔵する。そして昼間には、この回転運動エネルギーに基づいて、上記発電機兼用モータにより発電し、電力を取り出して使用する。

【0003】 この様なフライホイールを使用した電力貯蔵装置の効率を高める為には、上記フライホイールを回転支持する為の軸受装置として、回転抵抗が少なく、しかも運転に要するエネルギーが少ないものを使用する必要がある。この為従来から、特開平5-248437号公報に記載されている様に、軸受装置として超電導磁気軸受装置を使用した電力貯蔵装置が提案されている。図1

4は、この公報に記載された、超電導磁気軸受装置を組み込んだ電力貯蔵装置を示している。

【0004】 密閉された真空ハウジング1の中心部に回転軸2を、鉛直方向に配設している。上記真空ハウジング1の内面には、この回転軸2の周囲を囲む様にして保持筒3を固定している。そして、この保持筒3の下半部内周面と上記回転軸2の中間部外周面との間に、それぞれが磁性リング4、4と電磁石5、5とから成る能動型磁気軸受6、6を設けて、上記回転軸2のラジアル方向に互る位置決めを図っている。又、上記保持筒3の上半部内周面と上記回転軸2の上端部との間には、ロータ7とステータ8とから成る発電機兼用モータ9を設けている。

【0005】 又、上記回転軸2の下端部には、回転部材であるフライホイール10を固定し、このフライホイール10の下面に円環状の永久磁石11を固定している。この永久磁石11は、軸方向（図14の上下方向）に互って着磁されており、上記フライホイール10の回転中心である、上記回転軸2の中心と同心に固定されている。更に、上記真空ハウジング1の底面には、固定部材を兼ねる冷却ジャケット12を固定し、この冷却ジャケット12の上面に設けた超電導体13の上面を、上記永久磁石11の下面に対向させている。この超電導体13は、上記永久磁石11と同様に円環状とし、この永久磁石11と同心に配置する事が望ましい。但し、円環状に造る事が難しい場合には、それぞれが円板状、円弧状等に造られた複数の超電導体を、上記永久磁石11と同心の円弧上に等間隔に配置する。又、上記冷却ジャケット12内には、液体窒素等の冷却剤を流通自在とし、上記超電導体13を超電導状態にできる様になっている。超電導体13が超電導状態にある場合には、ピン止め効果により、この超電導体13と上記永久磁石11との距離が変化する事が阻止される。従って、これら超電導体13と永久磁石11とが、非接触型の超電導スラスト磁気軸受14を構成する。

【0006】 上述の様に構成される従来の電力貯蔵装置の作用は、次の通りである。夜間等に余剰電力を貯蔵する際には、発電機兼用モータ9のステータ8に余剰電力を供給する事で、前記回転軸2及びフライホイール10を回転させる。この際、前記能動型磁気軸受6により、回転軸2のラジアル方向に互る位置決めを図ると共に、冷却ジャケット12内に冷却剤を送り込んで、超電導体13を冷却しておく。超電導体13が冷却され、超電導状態になると、永久磁石11から出た磁束が超電導体13内に拘束される、所謂ピン止め効果により、永久磁石11が超電導体13に対して軸方向及び半径方向に移動するのを阻止する力が作用する。この力によって、上記回転軸2とフライホイール10とに作用する、スラスト方向の力及びラジアル方向の力が支承される。この様に、能動型磁気軸受6と超電導スラスト磁気軸受14と

を機能させた状態で、上記回転軸2とフライホイール10とは浮上状態で支持される。従って、これら両部材2、10が回転する事に対する抵抗は極く小さくなる。

【0007】回転軸2とフライホイール10との回転速度は、上記ステータ8への通電に伴って徐々に上昇する為、電力を機械的運動エネルギーに変換した状態で貯蔵できる。回転軸2及びフライホイール10は、真空ハウジング1内に設けられている為、回転する部材の表面と空気とが摩擦し合う事はなく、一度上昇したフライホイール10の回転速度は、上記発電機兼用モータ9による電力取り出しを行なわない限り、殆ど低下する事がなくなる。昼間等、貯蔵したエネルギーを取り出して使用する場合には、上記ステータ8を負荷（電気設備）に接続する。この結果、上記フライホイール10の回転運動に基づいて上記ステータ8に電力が惹起される。

【0008】高速回転する回転軸を浮上状態で支持する磁気軸受装置としては、上述した従来の第1例の構造の他にも、実開平2-87120号公報、同4-97119号公報に記載されたものが知られている。図15は、このうちの実開平2-87120号公報に記載された磁気軸受装置を示している。この従来の第2例の構造では、回転軸2の上下両端部にそれぞれ磁性材製で円環状のヨーク15a、15bを固定している。又、これら回転軸2及びヨーク15a、15bを囲むハウジング16の内周面に、上下1対の磁気軸受ユニット17a、17bを固定している。そして、上側のヨーク15aの下面と上側の磁気軸受ユニット17aの上面とを、下側のヨーク15bの上面と下側の磁気軸受ユニット17bの下面とを、それぞれ軸受隙間を介して対向させている。

【0009】上記各磁気軸受ユニット17a、17bは、それぞれ軸方向（図15の上下方向）に着磁された円環状の永久磁石18と、磁性材により断面J字形で円筒状に造られたバックヨーク19とを備える。このバックヨーク19により三方を囲まれた空間内には円環状の着磁コイル20を納め、このバックヨーク19を着磁可能にしている。又、上記回転軸2の下端面に対向させて位置検出器21を設け、この回転軸2の軸方向位置を検出自在としている。

【0010】この従来の第2例の構造で上記回転軸2は、上記各磁気軸受ユニット17a、17bに組み込まれた永久磁石18、18の磁気吸引力に基づき、浮上状態で支持される。これら各永久磁石18、18の磁気吸引力は不安定である為、そのままでは上記回転軸2が軸方向に変位する。そこで、上記位置検出器21の検出信号に基づいて、上記各磁気軸受ユニット17a、17bに組み込まれた着磁コイル20、20に所定方向に所定の大きさの直流を流し、これら各磁気軸受ユニット17a、17bの磁気吸引力を調節し、上記回転軸2が軸方向に変位するのを防止する。

【0011】又、図16は、実開平4-97119号公

報に記載された磁気軸受装置を示している。この従来の第3例の構造では、回転軸2の中間部外周面に磁性材製のフランジ22を固定し、このフランジ22の上下両面に磁気軸受ユニット23を対向させている。この磁気軸受ユニット23は、断面が略C字形で全体が円環状に形成された1個のヨーク24と、このヨーク24の両端部に併設されて互いに同極同士を対向させた1対の永久磁石18、18と、この永久磁石18、18と上記ヨーク24の中間部との間に設けられた1対の着磁コイル20a、20aとを備える。

【0012】この従来の第3例の構造で上記回転軸2は、上記磁気軸受ユニット23に組み込まれた永久磁石18、18の磁気吸引力に基づき、浮上状態で支持される。又、上記回転軸2が軸方向（図16の上下方向）に変位した場合には、図示しない位置検出器の検出信号に基づいて、上記各着磁コイル20a、20aに所定方向に所定の大きさの直流を流し、この磁気軸受ユニット23の磁気吸引力を調節し、上記回転軸2が軸方向に変位するのを防止する。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】ところで、例えば前述の様に構成され作用する電力貯蔵装置の電力貯蔵能力を向上させるべく、フライホイール10の重量を大きく（重く）した場合には、前記超電導スラスト磁気軸受14の負荷容量を大きくする必要がある。又、各種機械装置の回転軸に加わる大きなスラスト荷重を支持する場合にも、やはり大きな負荷容量が必要になる。ところが、現状に於いて実用可能な超電導スラスト磁気軸受14の負荷容量には限度があり、超電導スラスト磁気軸受14のみで支持可能なフライホイール10を使用して電力貯蔵装置の性能向上を図ったり、或は大きなスラスト荷重が加わる回転軸を支持する事は難しかった。

【0014】図15～16に示した構造は、永久磁石18及び着磁コイル20、20aとして大きなものを使用すれば、十分な負荷容量を得る事は可能である。しかしながら、これら図15～16に示した構造では、十分な負荷容量を得る為には、これら永久磁石18及び着磁コイル20、20aを大型化しなければならないだけでなく、着磁コイル20、20aへの通電量も多くなる為、運転経費が高んでしまう。例えば、電力貯蔵装置に組み込んだ場合には、貯蔵可能な電力のうちの多くの部分を磁気軸受装置の運転により消費してしまう為、現実的ではなくなる。

【0015】即ち、図15に示した構造の場合には、下側の磁気軸受ユニット17bが回転軸2に引き上げ方向の力を付与するのに対して、上側の磁気軸受ユニット17aは引き下げ方向の力を付与する。従って、磁気軸受装置全体としての負荷容量を確保する為には、少なくとも上記下側の磁気軸受ユニット17bの磁気吸引力を十分に大きくし、しかもこの磁気軸受ユニット17bを構

成する着磁コイル20に常に電流を流し続ける必要がある。この結果、消費電力が嵩む。

【0016】又、図16に示した構造の場合、上下1対の永久磁石18、18の磁気吸引力の釣り合いで回転軸2の軸方向位置を規制するが、これら各永久磁石18、18の端面から出た磁力線のうちの多くがヨーク24を流れ、上記回転軸2の浮上に寄与しない。従って、回転軸2を浮上させる為には着磁コイル20aへの通電量を十分に多くする必要があり、やはり消費電力が嵩んでしまふ。本発明の磁気軸受装置は、この様な不都合を解消すべく発明したものである。

【0017】

【課題を解決するための手段】本発明の磁気軸受装置は、回転軸と、この回転軸の一部にこの回転軸と同心に設けられたフランジと、このフランジの少なくとも軸方向片面に設けられた強磁性体部分と、この強磁性体部分に対向する内壁面を有し、且つ上記フランジを囲むハウジングと、このハウジングの一部に上記フランジの少なくとも片面に対向して設けられ、このハウジングに対する上記フランジの軸方向位置を検出する変位センサと、上記ハウジングの内壁面の一部に上記強磁性体部分に対向して設けられた磁気軸受ユニットと、この磁気軸受ユニットへの通電を制御する制御器とを備える。

【0018】そして、上記磁気軸受ユニットは、それぞれが軸方向に且つ互いに逆方向に着磁され、それぞれが上記回転軸と同心に配置された少なくとも1対の永久磁石と、これら対となる永久磁石の着磁方向端面で上記フランジと反対側の端面同士を磁氣的に連結する磁性材製のバックヨークと、上記1対の永久磁石の間の個所とこれら1対の永久磁石のうちの直径方向内側の永久磁石の内周面の個所と直径方向外側の永久磁石の外周面の個所との少なくとも1個所に配置された円環状の着磁コイルとを備える。又、上記制御器は、上記変位センサの検出信号に基づいて上記着磁コイルへの通電量と通電方向とを制御して上記フランジの軸方向位置を一定に保つ。

【0019】

【作用】上述の様に構成される本発明の磁気軸受装置によれば、重量の嵩む回転軸を安定して支持できる。即ち、対となる永久磁石の着磁方向端面でフランジと対向する面とこのフランジの強磁性体部分との間に強い磁気吸引力が作用するので、磁気軸受装置全体としての負荷容量を十分に確保できる。又、ハウジングに対するフランジの位置が変化する場合においては、変位センサの検出信号に基づいて制御器が着磁コイルへの通電方向及び通電量を制御し、磁気軸受ユニットと上記強磁性体部分との間に作用する磁気吸引力を調節する。従って、上記回転軸の軸方向位置を規制できる。

【0020】

【実施例】図1～2は本発明の第一実施例を示している。鉛直方向に配置された回転軸2の下端部にはフラン

ジ22を、この回転軸2の中心と同心に設けている。このフランジ22は、フライホイールとして機能して大きな運動エネルギーを貯蔵できる様に、十分に大きな慣性質量を有する。この様なフランジ22の上面外周側半部には鋼板25を、溶接、焼きばめ、ねじ止め、接着等により固定し、この鋼板25を上記フランジ22の強磁性体部分としている。そして、この鋼板25を含むフランジ22の周囲を、アルミニウム合金、コンクリート等の非磁性材製のハウジング26により囲んでいる。上記回転軸2は、このハウジング26を構成する天板部29の中央部に設けた円孔27を通じて、このハウジング26外に突出させている。ハウジングの内壁面である上記天板部29の下面に形成した円環状の凹部33の内側には、磁気軸受ユニット28を固定し、この磁気軸受ユニット28の下面と上記鋼板25の上面とを対向させている。回転軸2及びフランジ22本体の材質は、十分な強度を確保できさえすれば、特に問わない。

【0021】上記磁気軸受ユニット28は、1対の永久磁石30a、30bと、それぞれ1個ずつのバックヨーク31及び着磁コイル32とを備える。このうちの永久磁石30a、30bは、それぞれが円環状に形成されて、軸方向（図1～2の上下方向）に、且つ互いに逆方向に着磁され、それぞれが上記回転軸2の中心と同心に配置されている。又、上記バックヨーク31は、鋼板等の強磁性材により円輪状に造られている。そして、このバックヨーク31の下面内周寄り部分に、直径方向内側の永久磁石30aの着磁方向一端面である上面を、同じく下面外周寄り部分に、直径方向外側の永久磁石30bの着磁方向一端面である上面を、それぞれ突き当てている。従って、これら1対の永久磁石30a、30bの着磁方向一端面同士は、上記バックヨーク31により磁氣的に連結されている。更に、上記着磁コイル32は、導線を巻回する事により全体を円環状に形成されて、上記バックヨーク31の下面と上記1対の永久磁石30a、30bの周面とで三方を囲まれる個所（1対の永久磁石の間の個所）の空間内に配置されている。

【0022】一方、上記天板部29の下面複数個所には、それぞれ変位センサ34、34を固定し、この変位センサ34、34によって、上記天板部29の下面と上記鋼板25の上面との間の距離を検出自在としている。これら各変位センサ34、34の検出信号は、図示しない制御器に入力している。そして、この制御器は、上記各変位センサ34、34の検出信号に基づいて上記着磁コイル32への通電量と通電方向とを制御し、上記鋼板25を固定したフランジ22の軸方向位置である上下位置を一定に保つ。

【0023】上述の様に構成される本発明の磁気軸受装置によれば、フランジ22を固設する事で重量の嵩む回転軸2を安定して支持できる。即ち、上記磁気軸受ユニット28を構成する1対の永久磁石30a、30bの下

端面と上記フランジ22の上面に固定した鋼板25の上面との間には、図2に実線 $\alpha$ で示す主磁気回路が形成される。上記1対の永久磁石30a、30bは互いに逆方向に着磁され、しかもそれぞれの上端面同士を上記バックヨーク31により磁気的に導通させているので、上記主磁気回路を構成する磁束の強度が十分に強く（磁束密度が高く）なる。従って、上記磁気軸受ユニット28と鋼板25との間に強い磁気吸引力が作用し、磁気軸受装置全体としての負荷容量を十分に確保できる。

【0024】又、上記回転軸2が鉛直方向に変位する事で、前記ハウジング26に対するフランジ22の位置が変化する傾向となった場合には、変位センサ34の検出信号に基づいて制御器が、着磁コイルへの通電方向及び通電量を制御し、上記磁気軸受ユニット28と鋼板25との間に作用する磁気吸引力を調節する。即ち、上記1対の永久磁石30a、30bと鋼板25との間に作用する磁気吸引力だけでは、上記回転軸2を浮上状態に支持する力が非常に不安定になる。例えば、上記1対の永久磁石30a、30bの下端面と鋼板25の上面との距離が所定値の場合に、上記フランジ22等を含む回転軸2の重量と上記1対の永久磁石30a、30bによる磁気吸引力とが釣り合うと仮定すると、上記距離が上記所定値よりも大きい場合には上記1対の永久磁石30a、30bが回転軸2を支えられず、反対に上記距離が上記所定値よりも小さい場合には回転軸2が上昇し切って、上記鋼板25が1対の永久磁石30a、30bの下端面に吸い付いてしまう。

【0025】これに対して本発明の磁気軸受装置の場合には、上記着磁コイル32への通電により、上記磁気軸受ユニット28と鋼板25との間に作用する磁気吸引力を調節できるので、上記回転軸2の軸方向位置を規制（鋼板25の上面と磁気軸受ユニット28の下面との距離を所定値に維持）できる。即ち、上記着磁コイル32への通電により上記磁気軸受ユニット28には、図2に鎖線 $\beta$ で示す副磁気回路が形成される。この副磁気回路を構成する磁束の向きと強さ（磁束密度）とは、上記着磁コイル32に流す直流電流の向きと大きさにより調節できる。

【0026】そこで、上記回転軸2が下降傾向となった場合には、上記着磁コイル32に所定方向に通電する事で、上記副磁気回路に前記主磁気回路と同方向の磁束を流す。この状態では、永久磁石30a、30bと鋼板25との間に作用する磁気吸引力に、上記副磁気回路に基づく磁気吸引力が足された状態となる。この為、上記磁気軸受ユニット28と鋼板25との間に働く磁気吸引力が大きくなり、上記回転軸2の下降が阻止される。

【0027】反対に、上記回転軸2が上昇傾向となった場合には、上記着磁コイル32に上記所定方向とは逆方向に通電する事で、上記副磁気回路に前記主磁気回路と逆方向の磁束を流す。この状態では、永久磁石30a、

30bと鋼板25との間に作用する磁気吸引力から、上記副磁気回路に基づく磁気吸引力が引かれた状態となる。この為、上記磁気軸受ユニット28と鋼板25との間に働く磁気吸引力が小さくなり、上記回転軸2の上昇が阻止される。

【0028】本発明の磁気軸受装置の場合、フランジ22等を含む回転軸2の重量は、主として1対の永久磁石30a、30bと鋼板25との間に形成される主磁気回路で発生する磁気吸引力で支える。そして、着磁コイル32に通電するのは、これら重量と磁気吸引力とのバランスが崩れた時に、このバランスを回復させるまでの間だけである。従って、上記着磁コイル32への通電量は少なく済み、磁気軸受装置の運転時の消費エネルギーは僅少となる。

【0029】尚、上述した実施例では、回転軸2とハウジング26との間に設けるラジアル軸受を省略しているが、例えば天板部29に形成した円孔27の内周面と回転軸2の外周面との間に非接触型のラジアル軸受を設ける事もできる。非接触型のラジアル軸受としては、従来から周知の磁気軸受、或は流体軸受（静圧型、動圧型）を使用できる。尚、上記回転軸2に加わるラジアル荷重は小さいので、ラジアル軸受の消費エネルギーは僅少である。

【0030】次に、図3～4は本発明の第二実施例を示している。本実施例の場合には、直径が異なる2組の磁気軸受ユニット28a、28bを、ハウジング26を構成する天板部29の下面に、それぞれ回転軸2と同心に固定している。そして、各磁気軸受ユニット28a、28bの下面と、フランジ22の上面に固定した鋼板25の上面とを対向させている。従って、これら各磁気軸受ユニット28a、28bと鋼板25との間に作用する磁気吸引力を、上述した第一実施例の場合に比べて大きくし、より重量の嵩む回転軸2を支承可能になる。尚、直径方向内側の磁気軸受ユニット28aを構成する直径方向外側の永久磁石30bと、直径方向外側の磁気軸受ユニット28bを構成する直径方向内側の永久磁石30aとは同方向に着磁して、これら両磁石30a、30bの着磁方向端面同士の間で磁束が流れる事を防止している。その他の構成及び作用は、上述した第一実施例と同様である。

【0031】次に、図5～6は本発明の第三実施例を示している。本実施例の場合には、ハウジング26を構成する天板部29の下面に、磁気軸受ユニット28と、この磁気軸受ユニット28を抱持する様に配置された第二の磁気軸受ユニット35とを設けている。第二の磁気軸受ユニット35を構成する永久磁石30a'、30b'は、それぞれ上記磁気軸受ユニット28を構成する永久磁石30a、30bの直径方向内側又は直径方向外側に配置し、隣り合うこれら各永久磁石30a、30bと同方向に着磁している。そして、上記各永久磁石30a

、30b'の上端面同士を、第二のバックヨーク36により磁氣的に接続している。そして、この第二のバックヨーク36の中間部下面と次述するスペーサ38との間に、第二の着磁コイル37を添設している。この様に構成される第二の磁気軸受ユニット35と上記磁気軸受ユニット28との間には、非磁性材製のスペーサ38を挟持して、これら両磁気軸受ユニット35、28同士を磁氣的に遮断している。

【0032】本実施例の場合も、上述した第二実施例と同様に、上記両磁気軸受ユニット35、28と鋼板25との間に作用する磁気吸引力を、上述した第一実施例の場合に比べて大きくし、より重量の嵩む回転軸2を支承可能になる。特に、本実施例の場合には、上記第二の磁気軸受ユニット35により形成される主磁気回路及び副磁気回路が、図6に実線 $\alpha'$ 及び鎖線 $\beta'$ に示す様に、天板部29の下面から離れた部分にまで達する。従って、この天板部29の下面と鋼板25の上面との距離が大きい場合でも、十分に大きな負荷容量と軸受剛性とを得られる。その他の構成及び作用は、前述した第一実施例と同様である。

【0033】次に、図7は本発明の第四実施例を示している。本実施例の場合には、ハウジング26を構成する天板部29の下面に3組の磁気軸受ユニット28、28を固定している。これと共に、フランジ22の下面と上記ハウジング26を構成する底板部39の上面との間に、反発式の磁気軸受を設けて、磁気軸受装置全体としての負荷容量を十分に大きくしている。このうちの反発式の磁気軸受は、それぞれが円環状に形成されて軸方向（図7の上下方向）に互って互いに逆方向に着磁された2個の永久磁石40、40と1個のバックヨーク41とから成るユニット42a、42bを、それぞれ3組ずつ、上記フランジ22の下面と底板部39の上面とに固定している。そして、上記フランジ22の下面に固定したユニット42a、42aを構成する永久磁石40、40の下端面と、上記底板部39の上面に固定したユニット42b、42bを構成する永久磁石40、40の上端面とを、互いに同極同士で対向させている。

【0034】従って、本実施例の場合には、上記3組の磁気軸受ユニット28、28と鋼板25の上面との間に作用する磁気吸引力だけでなく、上記3組ずつのユニット42a、42b同士の間には作用する反発力によっても、回転軸2の重量を支えられる。又、図示の実施例の場合には、上記3組ずつのユニット42a、42bを構成する永久磁石40、40同士が、直径方向に少しずれた状態で互いに対向している。従ってこれら各永久磁石40、40の端面同士の間には、回転軸2の軸心に対して傾斜した、円錐方向（軸方向に対して少し直径方向（図7の左右方向）にずれた方向）の反発力が作用する。従って、上記反発式の磁気軸受は、上記回転軸2の重量を支えるだけでなく、このフランジ22のラジアル

方向の位置決めを図る機能も有する。従って、ラジアル方向の荷重が小さければ、独立したラジアル軸受を省略する事も可能になる。尚、この反発式の磁気軸受の負荷容量は、上記回転軸2の重量を支えるには不足するものとし、上記3組の磁気軸受ユニット28、28により、不足する負荷容量を確保する。その他の構成及び作用は、前述した第一実施例と同様である。

【0035】次に、図8は本発明の第五実施例を示している。本実施例は、前述の第三実施例の構造に反発式の磁気軸受を負荷したものである。各磁気軸受のうち、フランジ22の上側に設ける吸引式の磁気軸受の構造及び作用は、前述した第三実施例と同様である。又、フランジ22の下側に設ける反発式の磁気軸受の構造及び作用は、上述した第四実施例と同様である。

【0036】次に、図9は本発明の第六実施例を示している。本実施例の場合には、フランジ22の下面とハウジング26を構成する底板部39の上面との間に、超電導磁気軸受43を設けて、磁気軸受装置全体としての負荷容量を十分に大きくしている。このうちの超電導磁気軸受43を構成する為に上記フランジ22の下面には、それぞれが軸方向（図9の上下方向）に互って着磁された円板状若しくは円環状の永久磁石44a、44bとそれぞれが円板状若しくは円輪状に形成されたバックヨーク45a、45bとから成る永久磁石ユニット46a、46bを固定している。又、上記底板部39の上面には、超電導体47を固定し、この底板部39内に設けた図示しない冷却ジャケットにより、この超電導体47を冷却自在としている。そして、上記各永久磁石ユニット46a、46bの下面と、上記超電導体47の上面とを、互に対向させている。

【0037】本実施例の場合には上記超電導磁気軸受43部分で、上記各永久磁石ユニット46a、46bを構成する永久磁石44a、44bの下端面同士の間を流れる磁束を超電導体47内に捕捉したままとする、所謂ピン止め力が働く。このピン止め力は、上記フランジ22が下降する事に対して抵抗となるだけでなく、上昇する事に対しても抵抗となる。この為、超電導磁気軸受43自体、上記フランジ22が軸方向に変位する事に対する抵抗となる。前述の様に、この超電導磁気軸受43のみで必要な負荷容量を得る事は難しいが、本発明の磁気軸受装置の場合には、鋼板25と磁気軸受ユニット28、28との間に作用する磁気吸引力によっても、上記回転軸2の重量を支える。従って、磁気軸受装置全体としての負荷容量は十分に大きくなる。

【0038】しかも本実施例の場合には、十分とは言えないまでも、超電導磁気軸受43自体が回転軸2が軸方向に変位する事に対して抵抗となるので、この回転軸2の軸方向に互る変位が少なくなる。この結果、上記各磁気軸受ユニット28、28を構成する着磁コイル32、32に通電する頻度が少なくなつて、磁気軸受装置運転

時の消費電力が少なくなる。尚、上記超電導磁気軸受43は、上記回転軸2の重量を支えるだけでなく、フランジ22のラジアル方向の位置決めを図る機能も有する。従って、ラジアル方向の荷重が小さければ、ラジアル軸受を省略する事も可能になる。

【0039】次に、図10は本発明の第七実施例を示している。本実施例の場合には、ハウジング26の上部に円筒部48を設け、この円筒部48の内周面と回転軸2の外周面との間に、複数個(図示の例では2個)の制御型ラジアル磁気軸受49、49と、1個の発電機兼用モータ9とを設けている。この為に本実施例の場合には、上記回転軸2の外周面上下3箇所位置に鋼等の強磁性材製で円筒状のロータ50、7を固定している。又、上記円筒部48の内周面上下2箇所位置で、上下両端のロータ50、50と対向する部分には、それぞれ電磁石51、51を固定している。これら各電磁石51、51はそれぞれ、円周方向に4分割された電磁石素子から成る。そして、上記回転軸2の上下両端部外周面に対向して設けられた変位センサ52、52からの信号に基づいて何れかの電磁石素子に通電する事により、上記回転軸2のラジアル方向位置を規制する。更に、上記円筒部48の内周面中間部で上記両電磁石51、51の間部分にはステータ8を固定し、上記ロータ7と共に上記発電機兼用モータ9を構成している。本実施例の場合には、ラジアル剛性の大きな制御型ラジアル磁気軸受49、49を設ける事で、磁気軸受装置全体としてのラジアル軸受剛性が向上する。その他の構成及び作用は、前述した第四実施例と同様である。

【0040】次に、図11は本発明の第八実施例を示している。本実施例の場合には、回転軸2の中間部外周面にフランジ22を形成している。そして、上記回転軸2の上半部外周面と円筒部48の内周面との間、並びに回転軸2の下半部と底板部39に形成した円孔53の内周面との間に、それぞれ制御型ラジアル磁気軸受49、49を設けている。そして、上記回転軸2の上下両端部のラジアル方向に互る変位を検出する変位センサ52、52の検出信号により、これら各制御型ラジアル磁気軸受49、49への通電を制御する様にしている。又、上記回転軸2の中間部で上記フランジ22の直下部分と上記円孔53の内周面との間に、発電機兼用モータ9を設けている。

【0041】本実施例の場合には、上下1対の制御型ラジアル磁気軸受49、49の間隔が広い為、上記回転軸2が傾斜する事を阻止するモーメントが大きくなり、この回転軸2の傾斜防止をより確実に図れる。その他の構成及び作用は、上述した第七実施例と同様である。

【0042】次に、図12~13は本発明の第九実施例を示している。本実施例の場合、バックヨーク31は断面がコ字形状であり、バックヨーク31の半径方向(図12~13の左右方向)両側の端面即ち下端面は、鋼板

25と軸方向(図12~13の上下方向)に対向する。1対の永久磁石30a、30bの着磁方向一端面(図12~13の上端面)はバックヨーク31の半径方向中間部にそれぞれ当接している。1対の永久磁石30a、30bの間の個所は空間であり、非磁性体である。図13に実線αで示される様に、三つの主磁気回路が1対の永久磁石30a、30b、バックヨーク31及び鋼板25から成る磁気軸受ユニット28cに形成される。従って、本実施例に於ける主磁気回路は強い磁束となっている。

【0043】更に、本実施例の場合、直径方向内側の永久磁石30aの内周面とバックヨーク31との間の個所と、直径方向外側の永久磁石30bの外周面とバックヨーク31との間の個所とは円環状の着磁コイル32、32がそれぞれ配設されている。1対の着磁コイル32、32には同方向に通電するが、変位センサ34の検出信号に基づいて1対の着磁コイル32、32への通電方向及び通電量を制御すると、永久磁石30a、30bに形成される主磁気回路より強い磁束の副磁気回路が、図13に鎖線βで示される様にバックヨーク31及び鋼板25に形成される。その他の構成及び作用は、前述した第一実施例と同様である。

#### 【0044】

【発明の効果】本発明の磁気軸受装置は、以上に述べた通り構成され作用するので、運転時の消費電力が少なくて済むにも拘らず、十分に大きな負荷容量を確保して、回転部分に加わる大きな荷重を支承できる。又、軸方向の振動を減衰させる機能も高い為、磁気軸受装置を組み込んだ機械装置が運転時に振動する事を有効に防止できる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第一実施例を示す縦断面図。

【図2】図1のA部拡大図。

【図3】本発明の第二実施例を示す縦断面図。

【図4】図3のB部拡大図。

【図5】本発明の第三実施例を示す縦断面図。

【図6】図5のC部拡大図。

【図7】本発明の第四実施例を示す縦断面図。

【図8】同第五実施例を示す縦断面図。

【図9】同第六実施例を示す縦断面図。

【図10】同第七実施例を示す縦断面図。

【図11】同第八実施例を示す縦断面図。

【図12】同第九実施例を示す縦断面図。

【図13】図12のD部拡大図。

【図14】従来から知られた磁気軸受装置の第1例を組み込んだ電力貯蔵装置を示す縦断面図。

【図15】従来から知られた磁気軸受装置の第2例を示す縦断面図。

【図16】同第3例を示す縦断面図。

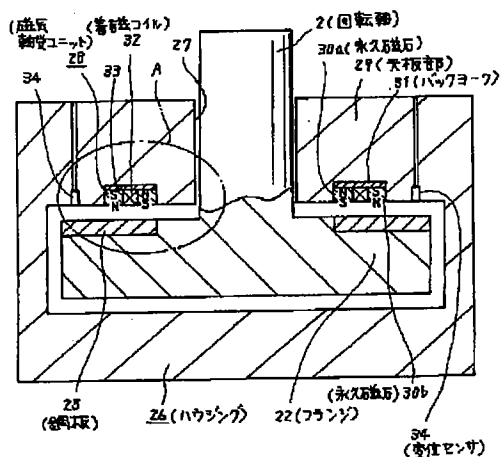
【符号の説明】

- 1 真空ハウジング
- 2 回転軸
- 3 保持筒
- 4 磁性リング
- 5 電磁石
- 6 能動型磁気軸受
- 7 ロータ
- 8 ステータ
- 9 発電機兼用モータ
- 10 フライホイール
- 11 永久磁石
- 12 冷却ジャケット
- 13 超電導体
- 14 超電導スラスト磁気軸受
- 15 a、15 b ヨーク
- 16 ハウジング
- 17 a、17 b 磁気軸受ユニット
- 18 永久磁石
- 19 バックヨーク
- 20、20 a 着磁コイル
- 21 位置検出器
- 22 フランジ
- 23 磁気軸受ユニット
- 24 ヨーク
- 25 銅板
- 26 ハウジング
- 27 円孔

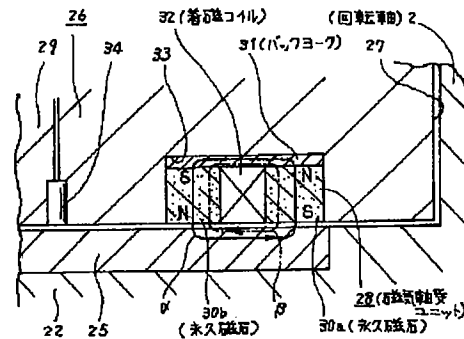
- \* 28、28 a、28 b、28 c 磁気軸受ユニット
- 29 天板部
- 30 a、30 b、30 a'、30 b' 永久磁石
- 31 バックヨーク
- 32 着磁コイル
- 33 凹部
- 34 変位センサ
- 35 第二の磁気軸受ユニット
- 36 第二のバックヨーク
- 10 37 第二の着磁コイル
- 38 スペーサ
- 39 底板部
- 40 永久磁石
- 41 バックヨーク
- 42 a、42 b ユニット
- 43 超電導磁気軸受
- 44 a、44 b 永久磁石
- 45 a、45 b バックヨーク
- 46 a、46 b 永久磁石ユニット
- 20 47 超電導体
- 48 円筒部
- 49 制御型ラジアル磁気軸受
- 50 ロータ
- 51 電磁石
- 52 変位センサ
- 53 円孔

\*

【図1】

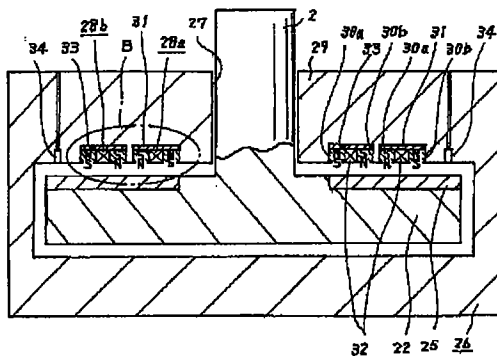


【図2】

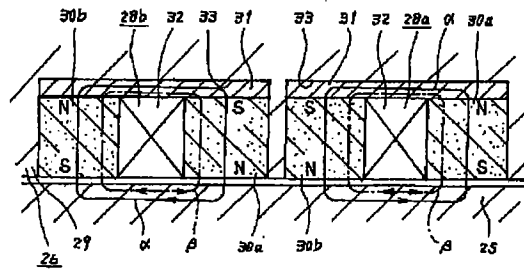




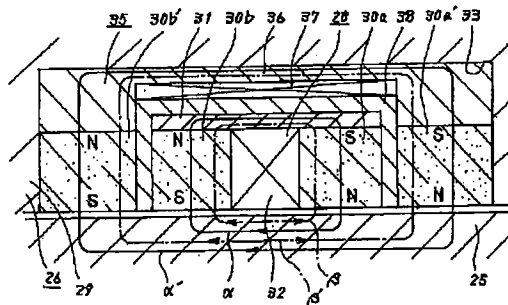
【図3】



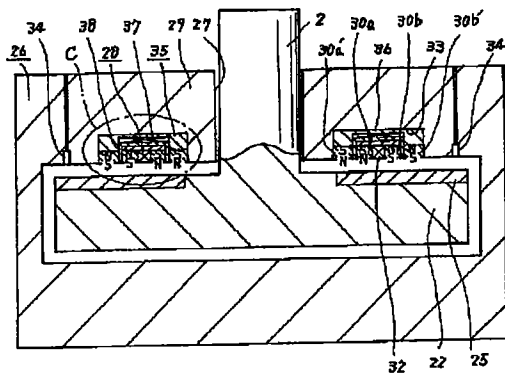
【図4】



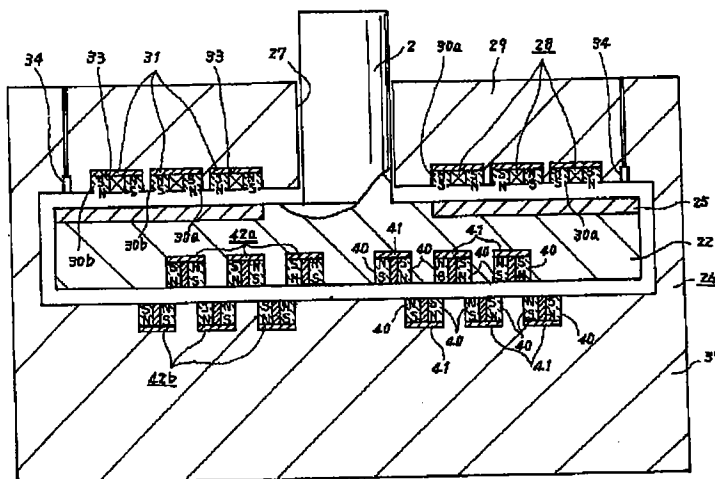
【図6】



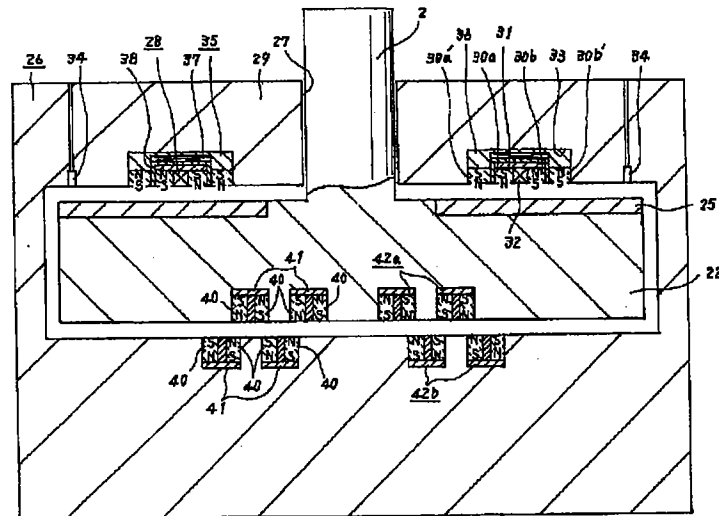
【図5】



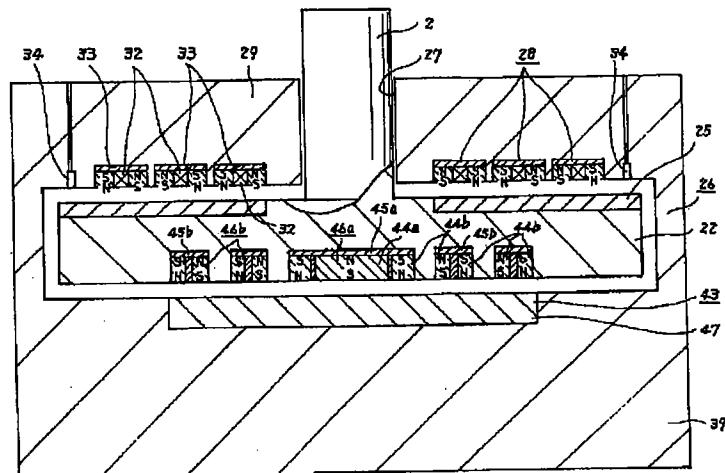
【図7】



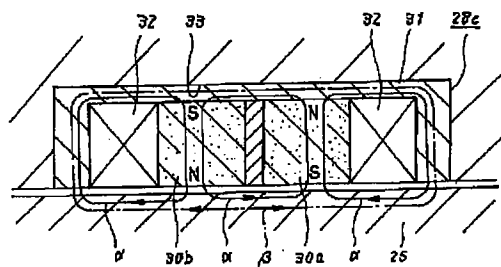
【図8】



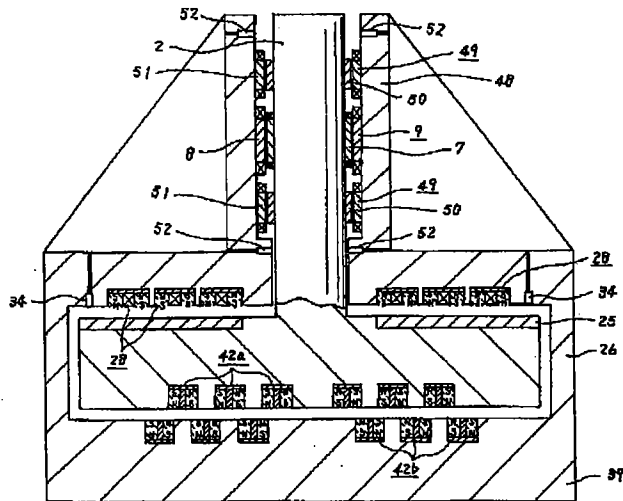
【図9】



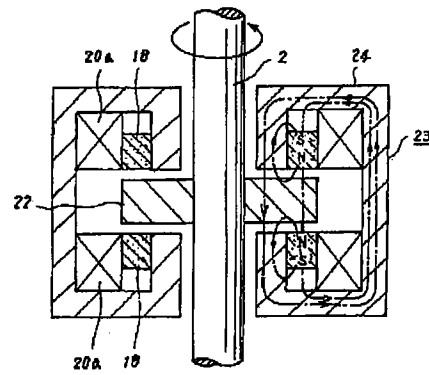
【図13】



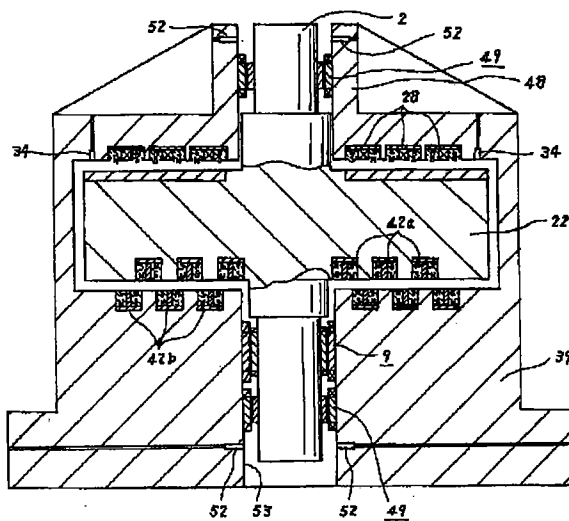
【図10】



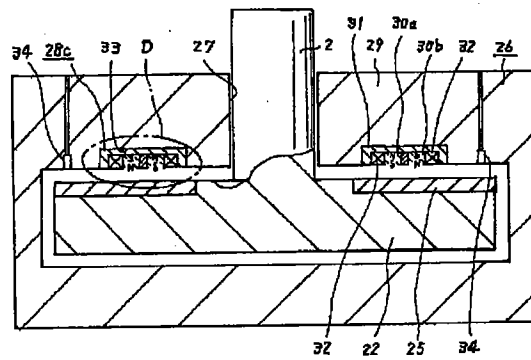
【図16】



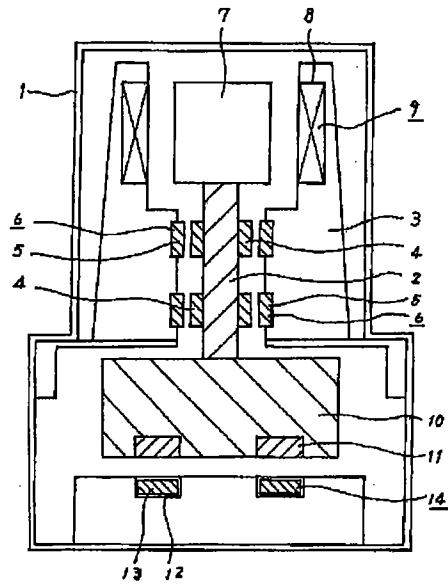
【図11】



【図12】



【図14】



【図15】

